

01;02;11

О возможности ионизации атомов ртути при упругом отражении в опытах по гипертермической поверхностной ионизации

© Н.М. Блащенко, Г.Я. Лаврентьев

Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН, С.-Петербург

Поступило в Редакцию 3 марта 1999 г.

В рамках модели упругих столкновений по данным работы [1] рассчитана зависимость потенциала ионизации атомов ртути (V') на критическом расстоянии перезарядки от кинетической энергии атомов (E). Полученная линейная зависимость $V'(E)$ свидетельствует в пользу модели поверхностной ионизации атомов ртути при упругом отражении от поверхности.

Экспериментальные данные опытов по ионизации на поверхности гипертермических (4–8 eV) атомов ртути [1] до настоящего времени не получили, на наш взгляд, общепринятой теоретической интерпретации.

В этом сообщении в рамках модели упругого отражения атомов от поверхности произведена оценка изменения значений потенциала ионизации атомов ртути (V') на критическом расстоянии перезарядки (x_k) в зависимости от энергии налетающих атомов (E) по данным работы [1]. Характер этой зависимости может служить одним из критериев в выборе модели ионизации гипертермических атомов.

Вопрос о поверхностной ионизации частиц с коэффициентом аккомодации, равным нулю, исследовался Н.И. Ионовым [2]. При упругом взаимодействии температура энергетического максвелловского распределения отраженных нейтральных частиц (T_e), отличающаяся от температуры поверхности (T), не изменяется. Те же частицы, которые при упругом взаимодействии с поверхностью при прохождении области x_k оставили свой электрон адсорбенту и отражаются в виде ионов, должны совершить работу $\lambda_+ > \lambda_0$ и не все смогут покинуть поверхность (здесь λ_+ и λ_0 — работа десорбции положительных и нейтральных частиц). Если время движения частиц в области x_k превышает время

установления зарядового равновесия между частицами и поверхностью, то степень ионизации (α_e) в упруго отраженном потоке частиц в плоскости x_k определяется выражением [2]:

$$\alpha_e|_{x_k} = A \exp \frac{e(\varphi - V')}{kT},$$

где A — отношение статсумм частиц в ионном и нейтральном состояниях, φ — работа выхода поверхности. Все отраженные в нейтральном виде частицы преодолеют барьер λ_0 , тогда как для ионов будет существовать дополнительный потенциальный барьер $\lambda_+ - \lambda_0$, который они должны преодолеть за счет начальной кинетической энергии. Таким образом, степень ионизации α_e в потоке упруго отраженных от поверхности адсорбента частиц с потенциалом ионизации V выразится предложенной Ионовым формулой [2]:

$$\begin{aligned} \alpha_e &= A \exp \frac{e(\varphi - V')}{kT} \exp \frac{\lambda_0 - \lambda_+}{kT_e} \\ &= A \exp \frac{e(\varphi - V)}{kT} \exp \left[(\lambda_0 - \lambda_+) \left(\frac{1}{kT_e} - \frac{1}{kT} \right) \right], \quad (1) \end{aligned}$$

из которой следует, что при $\lambda_+ > \lambda_0$ значение α_e растет с увеличением T_e . Отметим, что отношение A статсумм при увеличении T_e в рамках модели упругих столкновений не изменяется, так как если бы при увеличении T_e заселялись возбужденные состояния, то соударения были бы неупругими.

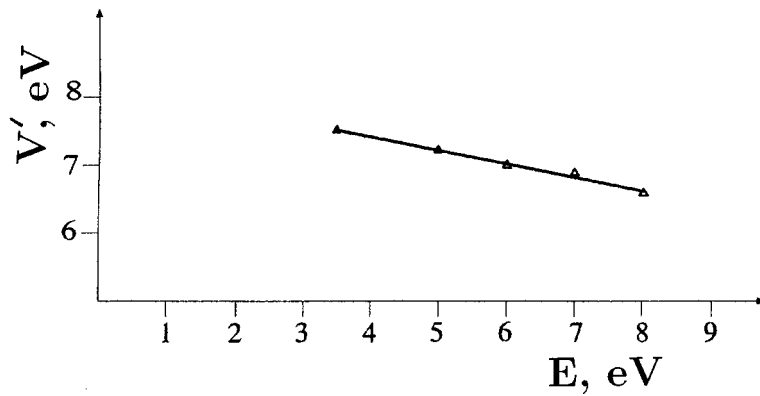
Преобразуем (1), выразив λ_+ и λ_0 через V' и V из соотношения, полученного из кругового термодинамического цикла [3]: $\lambda_0 - \lambda_+ = e(V - V')$. Используя тождество $V - V' = (V - \varphi) - (V' - \varphi)$ и произведя простые преобразования (1), получим:

$$\alpha_e = A \exp \left\{ \frac{e(\varphi - V)}{kT_e} \left[1 - \frac{\varphi - V'}{\varphi - V} \left(\frac{T_e}{T} - 1 \right) \right] \right\}.$$

Величина ионного тока (j) при упругом отражении атомов ртути от поверхности (случай трудной ионизации) определяется соотношением:

$$j \simeq eg\alpha_e,$$

где g — поток частиц, поступающих на поверхность.



Зависимость потенциала ионизации атома ртути (V') на критическом расстоянии перезарядки от кинетической энергии атомов (E).

Из приведенных формул видно, что, зная величину ионного тока, энергию атомов ртути $E = kT_e$, работу выхода поверхности и потенциал ионизации атомов ртути, можно подсчитать значения V' для различных kT_e .

Поскольку в работе [1] ток ионов приведен в относительных единицах, мы при расчете V' так же, как и авторы [1], опустили постоянные g , A и приравняли значение α_e экспериментальным величинам ионного выхода [1]. График зависимости V' от кинетической энергии E падающих на поверхность атомов ртути приведен на рисунке.

Линейная зависимость V' от E , на наш взгляд, говорит в пользу механизма ионизации при упругом отражении атомов ртути от адсорбента. Можно предположить, что S -оболочка атома ртути деформируется пропорционально кинетической энергии атомов. При деформации S -оболочки плотность электронного заряда увеличивается на расстояниях, больших среднего радиуса S -оболочки. Величина V' уменьшается обратно пропорционально этому расстоянию [4]. В пределах вычисленных изменений V' все перечисленные величины меняются линейно с E . Кроме этого, величина разности $e(V - V')$ при максимальной кинетической энергии атомов 8.2 eV составляет 3.84 eV , что меньше первого возбужденного уровня атома ртути (4.67 eV), т.е. процесс ионизации происходит без участия возбужденных состояний, что в

свою очередь подтверждается зависимостью $\ln j$ от E , характерной для трудноионизируемых частиц $e(V - \varphi) \gg kT$ [2,5].

Интересно отметить, что выражения для α_e совпадают с формулой степени неравновесной поверхностной ионизации α_n колебательно возбужденных молекул и радикалов [5]. Тожественность формул объясняется идентичностью положений, на основе которых независимо были выведены выражения для α_e [2] и α_n [6]:

1. Вероятность перезарядки частиц определяется распределением электронов по энергетическим уровням эмиттера, т.е. температурой поверхности T .

2. Вероятность слета частиц определяется их квазимаксвелловским распределением по начальным энергиям, характеризуемым температурой T_n или T_e .

Таким образом, величина степени неравновесной поверхностной ионизации определяется значениями T , T_n или T_e и не зависит от механизма создания неравновесных условий в системе адсорбент-адсорбат. Действительно, величина T_e обеспечивается кинетической энергией поступающих на поверхность атомов [1], T_n — либо энергией химических гетерогенных реакций [6], либо резонансным поглощением ИК излучения адсорбированными молекулами [7].

В заключение приносим благодарность В.И. Палееву и Н.Д. Потехиной за полезные обсуждения.

Список литературы

- [1] *Danon A., Vardi A., Amirav A.* // Physical Review Letters. 1990. V. 65. N 16. P. 2038–2041.
- [2] *Зандберг Э.Я., Ионон Н.И.* Поверхностная ионизация. М.: Наука, 1969. 432 с.
- [3] *Добрецов Л.Н., Гомоюнова М.В.* Эмиссионная электроника. М.: Наука, 1966. 564 с.
- [4] *Гайтлер В.* Элементарная квантовая механика. М.: ИЛ, 1948. 136 с.
- [5] *Блашенко Н.М., Лаврентьев Г.Я.* // Письма в ЖТФ. 1995. Т. 21. В. 24. С. 15–19.
- [6] *Блашенко Н.М., Лаврентьев Г.Я.* // Письма в ЖТФ. 1988. Т. 14. В. 15. С. 1359–1363.
- [7] *Блашенко Н.М., Лаврентьев Г.Я.* // Письма в ЖТФ. 1998. Т. 23. В. 23. С. 22–25.